

ANALISIS PENGGUNAAN RELE JARAK PADA SISTEM TRANSMISI GARDU INDUK 150 kV JAJAR KE GARDU INDUK 150 kV BANYUDONO



**Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata I pada
Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik**

Oleh:

QOID ZUHDI MU'TASHIM

D 400 130 043

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA
2017**

HALAMAN PERSETUJUAN

**ANALISIS PENGGUNAAN RELE JARAK PADA SISTEM TRANSMISI
GARDU INDUK 150 kV JAJAR KE GARDU INDUK 150 kV BANYUDONO**

PUBLIKASI ILMIAH

oleh:

QOID ZUHDI MU'TASHIM

D 400 130 043

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:

Dosen Pembimbing



Umar, S.T., M.T.

NIK.731

HALAMAN PENGESAHAN

**ANALISIS PENGGUNAAN RELE JARAK PADA SISTEM TRANSMISI
GARDU INDUK 150 kV JAJAR KE GARDU INDUK 150 kV BANYUDONO**

OLEH

QOID ZUHDI MU'TASHIM

D 400 130 043

**Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Surakarta
Pada hari Sabtu, 4 Februari 2016
dan dinyatakan telah memenuhi syarat**

Dewan Penguji:

1. Umar, ST. MT

(Ketua Dewan Penguji)


(.....)

2. Ir. Jatmiko, MT

(Anggota I Dewan Penguji)


(.....)

3. Aris Budiman, ST. MT

(Anggota II Dewan Penguji)


(.....)

Dekan,



W. Sri Sunarjono, S.T. PhD.

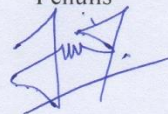
PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam naskah publikasi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya di atas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 1 Februari 2016

Penulis



QOID ZUHDI MU'TASHIM

D 400 130 043

ANALISIS PENGGUNAAN RELE JARAK PADA SISTEM TRANSMISI GARDU INDUK 150 kV JAJAR KE GARDU INDUK 150 kV BANYUDONO

Abstrak

Saluran transmisi menghubungkan antara satu pembangkit dengan Gardu Induk atau antar Gardu Induk satu dengan yang lain. Fungsi utama saluran transmisi yaitu menyalurkan energi listrik dari pembangkit listrik agar bisa digunakan di berbagai tempat yang letaknya jauh. Proteksi pada saluran transmisi mempunyai peran yang sangat penting dalam sistem tenaga listrik. Rele pengaman merupakan suatu peralatan pengaman yang difungsikan untuk mendeteksi suatu kondisi gangguan pada peralatan listrik. Rele jarak bekerja dengan mengukur besaran impedansi (Z) gangguan pada saluran transmisi dan membandingkannya dengan impedansi setting rele, dibagi menjadi beberapa daerah cakupan yaitu zona 1, zona 2, dan zona 3. Penggunaan rele jarak pada sistem jaringan Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV, diharapkan dapat membantu keandalan dari sistem transmisi. Metode yang dipergunakan untuk menentukan kembali nilai setting rele jarak untuk mengamankan sistem jaringan SUTT 150 kV GI Jajar – GI Banyudono dengan mencari data parameter sumber, trafo, dan kabel penghantar. Perhitungan nilai setting rele yang baru, diterapkan dan disimulasikan pada rangkaian, apakah dapat bekerja dengan baik dan tepat. Hasil perhitungan impedansi jangkauan sesuai data kabel penghantar didapatkan sebagai berikut: zona 1 : $(2.199+j3.987) \Omega$, zona 2 : $(4.31+j7.814) \Omega$, zona 3 : $(7.26+j13.156) \Omega$

Kata Kunci: transmisi, gangguan, impedansi, rele jarak.

Abstract

Transmission line connects generation with substation or in between substation. The main purpose for transmission line is to distribute electricity from generation for use in various faraway places. Protection on the transmission line has a very important role in the electric power systems. Safety relay is a planned series of safety equipment to detect an abnormality on the condition of electrical equipment. Distance relay works by measuring the amount of fault impedance (Z) transmission, and compare it with setting's impedance in the distance relay, divided into few zone, there are zone 1, zone 2, and zone 3. The use of distance relay on system High Voltage Overhead Transmission (HVOT) 150 kV's network, is expected to help the reliability of the transmission system. The method that is used to determine the value of setting distance relay on the HVOT 150 kV Jajar substation – Banyudono substation is finding the parameter data for the station, transformer, and transmission wire. The new calculated value of distance relay, used and simulated in the network, wheter it can work proportionally and accurately. The calculated value of reach impedance based on the transmission wire data are as such: zone 1 : $(2.199+j3.987) \Omega$, zone 2 : $(4.31+j7.814) \Omega$, zone 3 : $(7.26+j13.156) \Omega$

Keywords: transmission, fault, impedance, distance relay.

1. PENDAHULUAN

Ketersediaan listrik sebagai salah satu kebutuhan pokok dalam kehidupan manusia sudah tidak dapat dipungkiri lagi. Hampir di setiap lini masyarakat menggunakan perangkat elektronik yang membutuhkan daya listrik untuk dapat bekerja. Hal ini membuat listrik menjadi kebutuhan pokok yang tidak bisa terpisahkan dari kehidupan manusia. Ketergantungan masyarakat akan listrik menjadikan pasokan listrik menjadi sangat krusial dan harus dipenuhi. Pelayanan yang bersifat kontinyu diperlukan dalam mendukung mutu kualitas tersebut, walaupun dalam kenyataannya karena jarak yang sangat jauh dan karena kondisi alam akan mengganggu kekontinyuan penyaluran daya listrik (Nugraha, 2010). Berhentinya pasokan listrik ke masyarakat dapat mengganggu bahkan melumpuhkan aktivitas dan kinerja masyarakat di segala aspek, baik perekonomian, pendidikan, perdagangan, maupun pembangunan. PLN dalam hal ini yang bertanggung jawab atas ketersediaan listrik di Indonesia sangat memprioritaskan kontinuitas pasokan listrik menuju ke masyarakat.

Guna memastikan bahwa investasi untuk peralatan listrik sebanding dengan energi listrik yang tersedia, dan tetap memenuhi kebutuhan pelanggan, sistem tenaga listrik harus dapat secara kontinyu beroperasi tanpa pemadaman dalam skala besar (Yesansure, 2013). Energi listrik dibangkitkan dari pembangkit, yang kemudian dinaikkan tegangannya dan dialirkan melalui sistem transmisi untuk kemudian sampai di tangan masyarakat dan digunakan untuk kebutuhan sehari-hari. Berdasarkan hal tersebut dapat dilihat bahwa sistem transmisi memegang peranan penting untuk dapat menyalurkan energi listrik ke konsumen. Proses penyaluran energi listrik tersebut sering dijumpai adanya gangguan yang mengakibatkan kerugian, baik di pihak penyuplai maupun konsumen. Gangguan yang terjadi bisa diakibatkan oleh kesalahan sistem, maupun gangguan dari luar seperti sambaran petir, pohon tumbang, dan badai. Gangguan tersebut menyebabkan hubungan singkat satu fasa, dua fasa, atau tiga fasa.

Banyaknya kemungkinan gangguan yang mungkin terjadi membuat sistem proteksi jaringan yang handal sangat dibutuhkan untuk menjaga kontinuitas pengiriman energi listrik (Lestari, 2010). Komponen yang sangat vital dalam sistem proteksi adalah rele. Rele proteksi merupakan salah satu dari komponen utama pada sistem tenaga listrik yg dapat memberikan dampak yg besar pada kestabilan dan reliabilitas sistem tenaga listrik (Rambabu, 2015). Rele proteksi akan mendeteksi adanya kondisi abnormal pada sistem dengan mengukur besaran listrik pada saat berada dalam kondisi normal dan gangguan. Rele akan memberikan perintah *trip* pada PMT guna untuk memutus apabila mendeteksi adanya kondisi yang tidak normal.

Guna melindungi sistem transmisi, pengaman utama yang digunakan adalah rele jarak. Rele jarak bekerja dengan mendeteksi arus di titik gangguan dengan nilai tegangan pada titik rele

(Izykowski, 2008). Nilai impedansi gangguan yang didapatkan tersebut kemudian dibandingkan dengan nilai impedansi *setting* pada rele. Apabila nilai impedansi gangguan lebih besar daripada nilai impedansi *setting*, maka rele tidak akan memberi perintah trip. Apabila impedansi gangguan lebih kecil daripada impedansi *setting*, maka rele akan memberi perintah trip.

$$Z_f = \frac{V_f}{I_f} \quad (1)$$

Z_f = Impedansi Gangguan (Ohm)

V_f = Tegangan Gangguan (Volt)

I_f = Arus gangguan (Ampere)

Sistem transmisi Jajar - Banyudono yang relatif dekat tidak membuat pengamanannya lantas di sepelekan. Keandalan pengiriman energi listrik ke Banyudono juga merupakan salah satu prioritas utama Gardu Induk 150 kV Jajar. Oleh karenanya, nilai setting rele jarak harus benar-benar diperhitungkan dengan matang untuk memastikan bahwa jaringan transmisi Jajar - Banyudono sudah terlindungi dengan baik.

2. METODE

Proteksi sistem transmisi Jajar – Banyudono yang baik sangat dibutuhkan untuk memastikan bahwa daerah proteksi sudah benar-benar terlindungi. Guna melindungi berbagai gangguan yang mungkin terjadi di sepanjang saluran transmisi, maka peranan rele jarak tidak dapat dipungkiri adanya. Penelitian kali ini akan menghitung nilai impedansi jangkauan, dan melakukan uji perhitungan ketika terjadi gangguan.

Penghantar GI Jajar – GI Banyudono menggunakan rele jarak berspesifikasi seperti berikut :

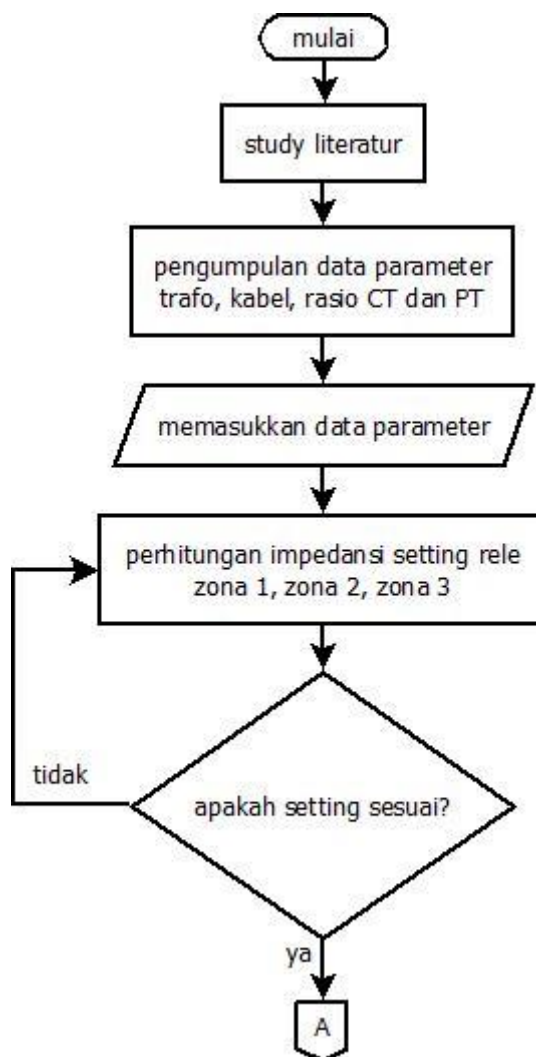
Tabel 1. Rele jarak yang digunakan

Nama	Uraian	Satuan
TOSHIBA	GRZ100	-
Model	201A-11-10	-
Arus nominal	1	A
Tegangan nominal	100/110/115/120	V
Frekuensi	50	Hz
Tegangan DC	110/125	Vdc

Penelitian dilakukan pertama kali dengan melakukan kerja praktek di Gardu Induk 150 kV Jajar selama 1 bulan. Pencarian referensi juga dilakukan dengan mencari jurnal ilmiah, rumus, dan buku yang berkaitan dengan penelitian dari berbagai sumber internet dan perpustakaan. Data-data yang digunakan didapatkan dari bertanya secara langsung ke pihak Gardu Induk 150 kV Jajar dan pihak Basecamp Surakarta bagian HAR Proteksi. Data juga didapatkan dari laporan bulanan dan rekap data yang telah disimpan pada arsip data.

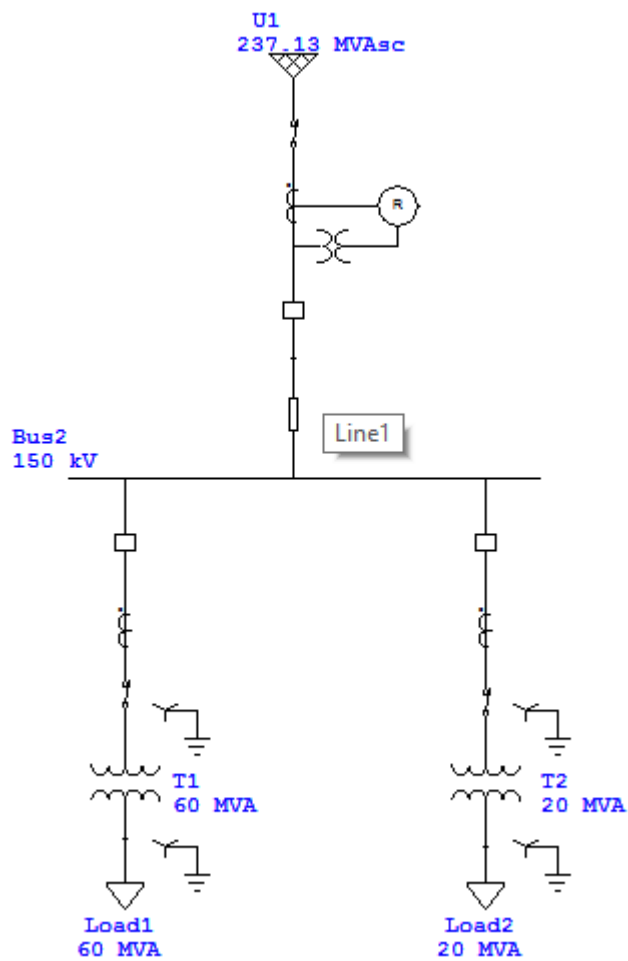
Data tersebut antara lain adalah:

- 1) Gambar *single line diagram* sistem transmisi GI Jajar – GI Banyudono.
- 2) Data parameter trafo, kabel penghantar, dan sumber tenaga.
- 3) Rasio CT dan PT, nilai arus, nilai tegangan.





Gambar 1. Flowchart Penelitian



Gambar 2. Gambar Single Line Transmisi Jajar – Banyudono

2.1 Penentuan zona perlindungan rele jarak

a. Zona 1

Jangkauan perlindungan zona 1 mencakup sejauh mungkin area transmisi di depannya yang dilindungi, dengan mempertimbangkan kesalahan data saluran sebesar 20%, sehingga dapat dituliskan persamaan matematisnya sebagai berikut.

$$Z_1 = 0.8 \times ZL_1 \quad (2)$$

Dengan :

ZL_1 = impedansi saluran transmisi yang diamankan (ohm)

Waktu kerja rele zona 1 adalah instan, $t = 0$ detik.

b. Zona 2

Daerah perlindungan zona 2 mencakup sisa daerah yang tidak terlindungi oleh zona 1 sampai ke penghantar seksi berikutnya. Persamaan matematis zona 2 dapat ditulis sebagai berikut.

$$Z_2 = 0.8 \times (ZL_1 + (0.8 \times ZL_2)) \quad (3)$$

Dengan :

ZL_1 = impedansi saluran transmisi yang diamankan (ohm)

ZL_2 = impedansi saluran transmisi berikutnya yang diamankan (ohm)

Waktu kerja rele zona 2 adalah $t = 0.4$ detik.

c. Zona 3

Pertimbangan penentuan zona 3 diukur dari sisa penghantar yang tidak terlindungi oleh zona 2, minimal sampai berakhir seksi berikutnya. Zona 3 dapat dituliskan dalam persamaan matematis.

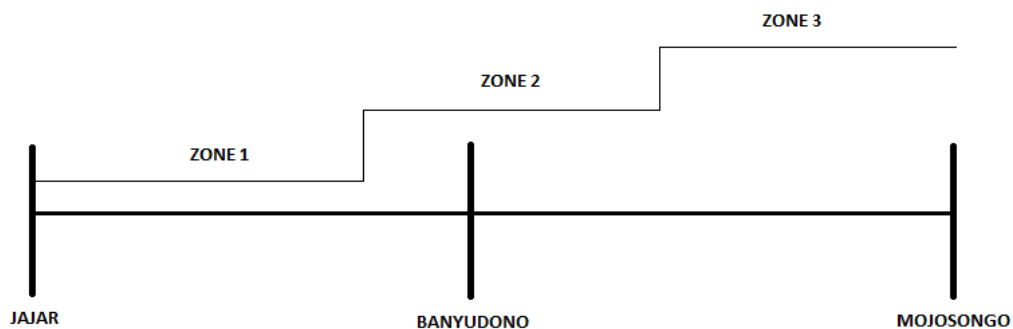
$$Z_3 = 1.2 \times (ZL_1 + ZL_2) \quad (4)$$

Waktu kerja rele zona 3 adalah $t = 1.2$ detik.

Dengan :

ZL_1 = impedansi saluran transmisi yang diamankan (ohm)

ZL_2 = impedansi saluran transmisi berikutnya yang diamankan (ohm)



Gambar 3. Zona pengamanan rele jarak

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian ini didapatkan nilai impedansi setting untuk zona 1, zona 2, dan zona 3 yang didasarkan pada sistem saluran transmisi GI Jajar – GI Banyudono. Penelitian ini juga ikut menyertakan hasil perhitungan gangguan satu fasa ke tanah dan gangguan 2 fasa. Dilakukan juga uji untuk melihat ketika terdapat gangguan pada jarak tertentu di tengah saluran transmisi yang dilindungi.

Rele jarak penghantar GI Jajar – GI Banyudono menggunakan karakteristik Mho.

2.2 Data Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini didapatkan dari Gardu Induk Jajar dan Basecamp Surakarta, yang terdiri dari:

1. Gambar *Single Line Diagram* saluran transmisi GI Jajar – GI Banyudono
2. Data rasio CT dan PT

$CT \text{ (Trafo Arus)} = 600:1$
 $PT \text{ (Trafo Tegangan)} = 1500:1$
3. Data parameter transformator daya
4. Data kabel penghantar

Tabel 2. Data kabel penghantar

Item	Uraian	Satuan
Tipe Konduktor	ACSR	-
Jenis Konduktor	HAWK	-
Diameter	21	mm
Luas Penampang	281	mm ²
Impedansi	$0.3178 + j0.5761$	Ω/km
Kapasitas Arus	455	A

2.3 Perhitungan Impedansi

Nilai impedansi sepanjang saluran transmisi dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$ZL = \text{panjang saluran} \times Z_{\text{saluran per km}} \quad (5)$$

Nilai impedansi saluran GI Jajar – GI Banyudono

$$ZL_1 = 8.65 \times (0.3178 + j0.5761)$$

$$ZL_1 = 2.7493 + j4.9836 \Omega$$

Nilai impedansi saluran GI Banyudono – GI Mojosongo

$$ZL_2 = 10.38 \times (0.3178 + j0.5761)$$

$$ZL_2 = 3.2987 + 5.9799 \Omega$$

Perhitungan nilai impedansi masing-masing zona berdasarkan persamaan 2, 3, dan 4 adalah sebagai berikut :

2.3.1 Zona 1

$$Z_1 = 0.8 \times (2.7493 + j4.9836)$$

$$Z_1 = 2.1995 + j3.9869 \Omega$$

Dengan jangkauan $0.8 \times 8.65 = 6.92$ km

Zona 1 memiliki waktu kerja instan karena merupakan pengaman utama saluran transmisi. $T_1 = 0$ detik.

2.3.2 Zona 2

$$Z_2 = 0.8 \times ((2.7493 + j4.9836) + (0.8 \times (3.2987 + 5.9799)))$$

$$Z_2 = 4.31 + j7.814 \Omega$$

Dengan jangkauan $0.8 \times (8.65 + (0.8 \times 10.38)) = 13.56$ km

Zona 2 bekerja sebagai *back up* zona 1 pada GI di depannya, sehingga memiliki waktu kerja lebih lama setelah zona 1. $T_2 = 0.4$ detik.

2.3.3 Zona 3

$$Z_3 = 1.2 \times ((2.7493 + j4.9836) + (3.2987 + 5.9799))$$

$$Z_3 = 7.2576 + j13.1562 \Omega$$

Dengan jangkauan $1.2 \times (8.65 + 10.38) = 22.83$ km

Zona 3 memiliki waktu kerja paling lama dibandingkan dengan zona 1 dan zona 2.

$T_3 = 1.2$ detik.

2.4 Impedansi yang Dilihat Rele

Rele jarak akan melihat nilai impedansi gangguan, tetapi dalam skala kecil, yaitu setelah dirasioikan oleh PT dan CT. Nilai impedansi yang dilihat rele dapat dituliskan dalam persamaan berikut :

$$Z_{\text{rele}} = \frac{PT}{CT} \times Z_{\text{zona}} \quad (6)$$

Rasio PT = 150000 : 100

Rasio CT = 600 : 1

$$n = \frac{100/150000}{1/600} = 0.4$$

Zona 1

$$Z_{1 \text{ sekunder}} = 0.4 \times (2.1995 + j3.9869)$$

$$Z_{1 \text{ sekunder}} = 0.879 + j1.595 \Omega$$

Zona 2

$$Z_{2 \text{ sekunder}} = 0.4 \times (4.31 + j7.814)$$

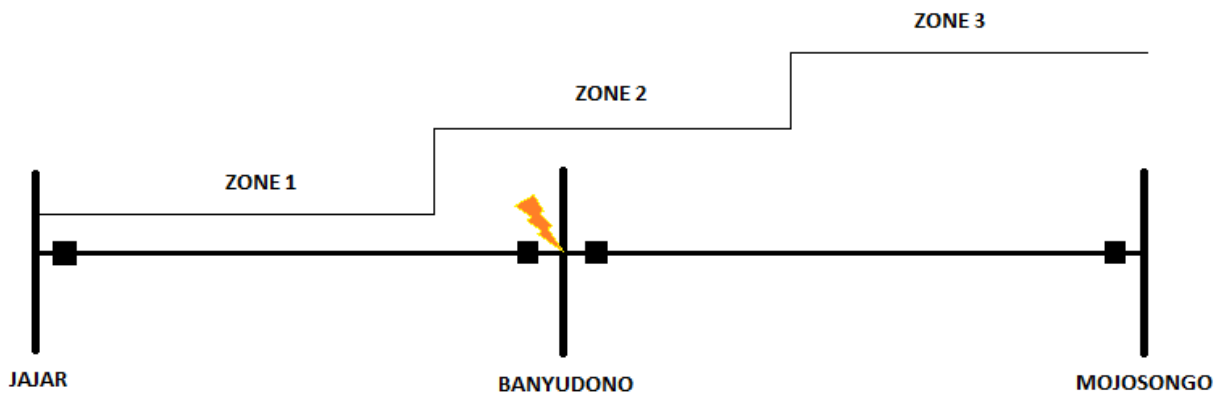
$$Z_{2 \text{ sekunder}} = 1.724 + j3.125 \Omega$$

Zona 3

$$Z_{3 \text{ sekunder}} = 0.4 \times (7.2576 + j13.1562)$$

$$Z_{3 \text{ sekunder}} = 2.903 + j5.26 \Omega$$

2.5 Gangguan pada sistem transmisi



Gambar 4. Gangguan pada sistem transmisi

Gangguan yang terjadi pada saluran transmisi akan dideteksi dan diamankan oleh rele jarak. Nilai gangguan yang terjadi dapat diukur dengan persamaan berikut :

- a. Gangguan 1 fasa ke tanah

$$I = 3 \times \frac{kV/\sqrt{3}}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3Z_f} \quad (7)$$

- b. Gangguan 2 fasa

$$I = \frac{kV/\sqrt{3}}{Z_1 + Z_2 + Z_f} \quad (8)$$

- c. Gangguan 3 fasa

$$I = \frac{kV/\sqrt{3}}{Z_1} \quad (9)$$

d. Tegangan gangguan

$$V = I \times Z_1 \quad (10)$$

Dengan :

- I = Arus Gangguan
- Z_1 = Impedansi Urutan Positif
- Z_2 = Impedansi Urutan Negatif
- Z_3 = Impedansi Urutan Nol
- Z_f = Impedansi Gangguan
- V = Tegangan Gangguan

2.6 Arus dan tegangan gangguan

Gambar 4 menunjukkan adanya gangguan pada sistem transmisi. Misal gambar diatas menunjukkan gangguan sebesar 10Ω , maka untuk perhitungan nilai gangguan yang terjadi dapat dilihat seperti berikut :

1. Gangguan satu fasa ke tanah:

a. Arus

$$I = 3 \times \frac{150000/\sqrt{3}}{(8.95+j97.49)+(8.95+j97.49)+(2.85+j17.36)+(3 \times 10)}$$

$$I = 3 \times \frac{86602.54}{(50.75+j212.34)}$$

$$I = 276.62 - j1157.43 \text{ A}$$

b. Tegangan

$$V = (276.62 - j1157.43) \times (8.95 + j97.49)$$

$$V = 115313.66 + j16609.63 \text{ V}$$

2. Gangguan 2 fasa

a. Arus

$$I = \frac{150000/\sqrt{3}}{(8.95+j97.49)+(8.95+j97.49)+(10)}$$

$$I = \frac{86602.54}{(27.9+j194.98)}$$

$$I = 62.28 - j435.25 \text{ A}$$

b. Tegangan

$$V = (62.28 - j435.25) \times (8.95 + j97.49)$$

$$V = 42989.86 + j2176.24 \text{ V}$$

3. Gangguan 3 fasa

a. Arus

$$I = \frac{150000/\sqrt{3}}{(8.95+j97.49)}$$

$$I = \frac{86602.54}{(8.95 + j97.49)}$$

$$I = 80.87 - j880.89 \text{ A}$$

b. Tegangan

$$V = (80.87 - j880.89) \times (8.95 + j97.49)$$

$$V = 86601.75 + j0.05 \text{ V}$$

Data diatas menunjukkan nilai arus gangguan dan tegangan gangguan yang muncul ketika terdapat gangguan sebesar 10Ω . Tiap gangguan yang berbeda memerlukan perhitungan yang berbeda pula.

2.7 Menentukan letak gangguan

Gangguan pada sistem transmisi diamankan oleh rele jarak zona tertentu sesuai dengan seberapa jauh jarak gangguan dari tempat rele jarak terpasang. Berdasarkan nilai impedansi gangguan yang dibaca rele, maka letak gangguan pada sistem transmisi dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

$$\text{Jarak gangguan} = \frac{\text{impedansi yang dibaca rele} \times \frac{PT}{CT} \times L_1}{ZL_1} \quad (11)$$

Contoh perhitungan gangguan :

a. 0.5Ω

$$\text{Jarak gangguan} = \frac{0.5 \times \frac{150000/100}{600/1} \times 8.65}{2.7493 + j4.9836}$$

$$\text{Jarak gangguan} = 0.91 \text{ km}$$

b. 1Ω

$$\text{Jarak gangguan} = \frac{1 \times \frac{150000/100}{600/1} \times 8.65}{2.7493 + j4.9836}$$

$$\text{Jarak gangguan} = 1.83 \text{ km}$$

Tabel 3. Pembacaan gangguan oleh rele jarak sebesar 0.5Ω hingga 3Ω

Impedansi gangguan	Letak gangguan
0.5Ω	0.91 km
1Ω	1.83 km
1.5Ω	2.75 km
2Ω	3.67 km
2.5Ω	4.58 km
3Ω	5.50 km

4. PENUTUP

Penelitian rele jarak pada sistem transmisi Jajar – Banyudono kali ini menghasilkan beberapa poin kesimpulan sebagai berikut :

1. Nilai impedansi kabel penghantar SUTT akan semakin besar ketika penghantar yang digunakan semakin panjang.
2. Suatu rele jarak minimal harus melindungi saluran transmisi dalam 3 zona, yaitu zona 1, zona 2, dan zona 3.
3. Zona 1 melindungi 80% dari total panjang saluran antara 2 Gardu Induk, dan akan seketika aktif ketika ada gangguan di daerah yang dilindunginya.
4. Zona 2 akan mem-*back up* zona 1 ketika mengalami kegagalan, melindungi penuh sepanjang penghantar antara 2 Gardu Induk, ditambah dengan beberapa persen panjang penghantar di depannya, dan memiliki waktu kerja lebih lama dari zona 1.
5. Zona 3 melindungi daerah pengamanan zona 2 ditambah sisa penghantar yang tidak terlindungi oleh zona 2. Memiliki waktu kerja lebih lama dari zona 2.
6. Nilai impedansi jangkauan yang didapatkan adalah zona 1 sebesar $(1.367+j2.47) \Omega$, zona 2 sebesar $(2.678+j4.855) \Omega$, zona 3 sebesar $(4.509+j8.175) \Omega$.

PERSANTUNAN

Tersusunnya laporan tugas akhir ini bukanlah hasil dari kerja keras penulis semata. Banyak pihak yang telah membantu dalam memberikan saran, masukan, dan larangan pada penulisan ini. Dukungan doa, mental, dan material juga tidak lupa diberikan orang-orang tercinta. Kesempatan kali ini penulis memanfaatkan untuk mengucapkan banyak-banyak terimakasih kepada :

1. Allah SWT, karena atas limpahan karunia dan nikmat-Nya lah penulis dapat memulai dan menyelesaikan laporan tugas akhir ini dengan lancar dan dipermudah. Alhamdulillah.
2. Rasulullah Muhammad SAW, karena syafaat dan doanya untuk umat Islam yang dipimpinnya, penulis mampu mengerjakan tugas akhir ini.
3. Abah dan Umi tercinta, yang selalu memberikan semua dukungan dan kebutuhan penulis sejak lahir sampai 21 tahun ini. Ucapan terimakasih putramu tak akan pernah cukup. Terimakasih.
4. Kakak dan adik tersayang, atas waktu dan doanya, serta bantuan-bantuan lainnya.
5. Bapak Umar, S.T. M.T. sebagai ketua jurusan Teknik Elektro dan terutama pembimbing yang telah memberikan semangat, ilmu, dan nasihat hingga selesainya tugas akhir ini.
6. Dosen Teknik Elektro karena ikut memberikan masukan dan informasi yang membantu.
7. Mas Ari Wijaya, Qodir, dan semua pihak dari Basecamp Surakarta dan Gardu Induk 150 kV Jajar atas bantuan dan data penulisan.

8. Teman satu bimbingan Bapak Umar, Nor Ria, Rika, Yaniar, Ogi, Yudhif, Ghofur atas dukungannya.
9. Teman seperjuangan tugas akhir, Ana, Yunita, Tri, Denisson, Riki, Sanusi, dan teman-teman lainnya yang telah saling mengingatkan satu sama lain.
10. Teman-teman mahasiswa Teknik Elektro yang telah memberikan dorongan dan semangat dalam proses pengerjaan tugas akhir ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Izykowski, J. (2008). *Fault Location On Power Transmission Line*. Faculty Of Electrical Engineering. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wroclawskiej, Wroclaw. Poland.
- Nugraha, Rully (2010). *Analisis Perhitungan Rele Jarak Pada SUTT 150 kV Cigereleng - Lagadar*. Teknik Elektro. Institut Teknologi Nasional, Bandung. Indonesia.
- Ojaghi, M. (2014). *Zone 3 Impedance Reach Setting Of Distance Relays By Including In-Feed Current Effects In An Adaptive Scheme*, Department Of Electrical Engineering. University Of Zanjan, Zanjan. Iran.
- Patel, Mamta (2012). *Fault Detection And Classification On A Transmission Line Using Wavelet Multi Resolution Analysis And Neural Network*. Department Of Electrical Engineering. Government Polytechnic College, Durg. India.
- Rambabu, M. (2015). *Three Zone Protection By Using Distance Relays in SIMULINK/MATLAB*. Electrical And Electronics Engineering. GMR Institute of Technology, Rajam. India.
- Suci Lestari, Dince (2010). *Analisis Kontingensi Proteksi Rele Jarak Pada Sistem Tegangan Tinggi Di PT. CHEVRON PACIFIC INDONESIA*. Teknik Elektro. Institut Teknologi Nasional, Bandung. Indonesia.
- Yesansure, T.M. (2013). *Numerical Quadrilateral Distance Relay*. Department of Electrical Engineering. Ramdeobaba College of Engineering and Management, Nagpur, Maharashtra. India